

⑫ 公開特許公報 (A)

昭57—197606

⑤Int. Cl.³
G 05 B 13/02

識別記号

庁内整理番号
7623—5H

⑬公開 昭和57年(1982)12月3日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 5 頁)

⑭プラントの運転制御装置

東京都府中市東芝町1 東京芝浦
電気株式会社府中工場内

⑮特 願 昭56—82759

⑯発 明 者 河野武史

⑰出 願 昭56(1981)5月30日

東京都千代田区内幸町1丁目1
番6号東京芝浦電気株式会社東
京事務所内特許法第30条第1項適用 昭和56年3月31日
昭和56年電気学会全国大会において「自家発
プラントのオンライン最適配分制御」に関す
る研究発表

⑰出 願 人 東京芝浦電気株式会社

川崎市幸区堀川町72番地

⑱発 明 者 加藤寿彦

⑲代 理 人 弁理士 猪股清 外3名

明 細 書

発明の名称 プラントの運転制御装置

発明の詳細な説明

本発明は、プラントの運転制御装置に関するものであり、更に詳しくは、プロセス蒸気を供給するボイラプラント、プロセス蒸気と共に電力を供給するボイラ・タービン発電プラント(自家発電プラントは多くの場合この一種である)、更に圧縮空気を供給するボイラ・タービン発電機、フローまたはコンプレッサより成るプラント等々の如く並列運転を目的とした複数台の機器より構成される複合プラントを最適な状態で運転する制御装置を提供するものである。ここで最適な状態とは、例えばプラントの運転に必要な消費エネルギーコストが最小になる状態のような、ある関数で表現できる量が最小(または最大)になるときの状態をいう。

従来、上述のようなプラントでは各構成機器の効率に着目して負荷の要求に対して効率の高い機器から順に使用したり、各種の運転条件に応じた使用機器を過去の経験や線形計画法を含む簡単な計算で予めオフラインで決めておき、これを基に

特許請求の範囲

1. 並列運転を目的とした複数台の機器より構成されるプラントに対し予め定められた状態を最適にするように各構成機器の運転状態をオンラインで決定する計算制御装置を備え、構成機器のうちの一部が停止あるいは固定された負荷状態の場合において、その最適性を保つように、おしやりとど 操作データの収集と重回路によるプラント構成機器の特性式の最新情報をとり、機器特性式、稼休計画、エネルギー量バランス式、必要負荷を制約条件とし、最小にすべきプラント運用コストを目的関数として定式化した非線形最適化問題を乗数法と共役勾配法を組合せて解き、プラントの運転状態を決定するようにしたことを特徴とするプラントの運転制御装置。

して実際の運転を行なう等の方法でエネルギーコストを出来るだけ小さくするような操業が行なわれていた。

しかるに、石油を中心とするエネルギー資源の騰価や生産性向上への要求から、プラントにおける消費エネルギーコストの考えられる限りの最小化が強く要求されているが、上述の従来からの方法ではこの要求にこたえることは不可能であつた。

本発明の提供するプラントの運転制御装置によれば、予め定められたある状態を最適にする（先に挙げたプラントの運転に必要な消費エネルギーコストを最小にするのはこの一例である）ように、各構成機器の運転状態をプラントの条件の変化に速応してオンラインで決定することができる。ここでエネルギーコスト最小というのは上に述べた従来のやり方に比べ数%のコスト低減まで可能である。更に本発明によれば、構成機器のうちの任意の一部が停止のとき（故障や定期点検を含む）や、任意に固定された負荷状態の場合（試運転中や調整中、また何らかの操業条件より一定の出力が要

(3)

第2図において、11, 12, 13...はボイラ設備、21, 22, 23...はタービン、31, 32, 33...は発電機、40は蒸気母管を表わす。

以下、この明細書においては第2図の実施例について説明する。

発電機による発電電力は工場で消費される総電力量の一部をなし残りの分は電力会社から購入している買電電力である。工場で使用されるプロセス蒸気は、第2図に示されていないが、タービンの抽気や排気あるいは母管から減圧されて適当な蒸気圧・温度にされて供給される。

このような対象プラント10の運転に際して省エネルギー・省資源の見地から、その時点に工場が必要とされるエネルギー（電力、蒸気）を最小のコストで供給するのが最も望ましい。

このためには以下で述べるように、エネルギーとしての電力や蒸気の所要量や各構成機器の定格および特性等を制約条件とし、最小にすべきプラントの運転コストを目的関数として数学的な最適化手法を適用し、これを解くことができる。

(5)

求される場合）にも、そのときの状態において最適な運転を行なうことができる利点がある。

第1図は、本発明の基本的な構成を示すブロック図である。

1は予め定められたある状態にするように対象プラント10を構成する機器の運転状態（ここでは負荷に応じた出力の大きさ）をオンラインで決定する計算制御装置を示す。

対象プラント10は、プロセス蒸気を発生し工場の生産設備に供給するボイラプラント、プロセス蒸気と共にタービン発電機を駆動して電力を発生しこれらを工場の生産設備に供給するボイラ・タービン発電プラント（これは自家発電プラントとも云う）、更に圧縮空気を発生し供給するボイラ・タービン発電機、ブローアまたはコンプレッサより成るプラント等のように並列運転を目的とした複数台の機器より構成されるプラントとする。本発明が適用される一実施例として、第2図にボイラとタービン発電機より構成される自家発電プラントを示す。

(4)

このとき注意すべきは、

④ コストミニマムの実をあげるためには計算精度を十分に上げること。

⑤ 変動する対象プラント10の運転条件に迅速に対応するために計算時間が十分に短いこと。

の2点である。

④に対してはボイラー、タービン等機器の特性を正確に表現する必要性から非線形性が考慮され、⑤の点も考えて、収束の速い非線形計画法の手法が必要となる。

非線形計画法の手法には種々のものが知られているが、上の条件を満足するものとして例えば乗数法と呼ばれる方法がある。これはペナルティ付ラグランジュ乗数法とも呼ばれるが、次の非線形計画問題（これをQとしよう）

「制約条件は

$$g_i(x) \leq 0 \quad \text{で} \quad i=1, 2, \dots, l$$

$$h_j(x) = 0 \quad \text{で} \quad j=1, 2, \dots, m$$

の下で、目的関数 $f(x)$ を最小化せよ。

ここに $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ で、 $f(x)$,

(6)

$g_i(x)$, $h_j(x)$ のうち少なくとも 1 個は x に関して非線形であるとする。』

に対して、そのペナルティ付ラグランジュ関数を

$$L(x, \lambda, \mu, r) = f(x) + \frac{1}{2r} \sum_{i=1}^l \{ [\text{Max}(0, \lambda_i + r g_i(x))]^2 - \lambda_i^2 \} + \sum_{j=1}^m \{ \mu_j h_j(x) + \frac{r}{2} h_j(x)^2 \} \quad \dots\dots\dots (1式)$$

とする。ここに $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)^T$, $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)^T$ はラグランジュ乗数ベクトル、 r はペナルティパラメータと呼ばれ、 $\text{Max}(A, B)$ は A, B のうち大きい方を意味する。

最適化理論によれば、適切な方法で順次更新される λ, μ および r に対してその都度上の $L(x, \lambda, \mu, r)$ を x に関する制約なしの最小化問題として解き、すべての制約条件を満足したとき、この解が上記の原制約付最小化問題 Q の解に一致することが証明できる。

この方法の利点は

(7)

時間当りのプラント運転コストをあてる。このプラントの場合にはボイラ消費燃料費と買電費の和である。この他に補給水等の費用があるが、前二者に比べれば無視できる。

制約条件は不等式条件と等式条件があり、前者としては各変数のとり得る範囲すなわち各構成機器の定格から由来する上、下限を不等式として表わしたもの、後者としては各構成機器の特性式(ボイラの効率式、タービン発電機の出力特性式等)や、蒸気収支(マスバランス)式および電力量収支の式等がある。

これらを Q の形に定式化し、(1式)のペナルティ付ラグランジュ関数 $L(x, \lambda, \mu, r)$ を使つて L の最小化すなわち目的関数 $f(x)$ の最小化を行ない、この最適解に従つて各機器の負荷配分、蒸気配分、ボイラの燃料配分を行なえば、この状態が必要な制約条件をすべて満足し、かつプラント運転コスト最小の状態、すなわち最適点である。

この方法によれば、先に述べたように計算手順

(9)

㊦ 計算手順(アルゴリズム)が簡単なこと

㊧ 計算機の所要メモリが少なくてよいこと

㊨ 収束が速いこと

㊩ 広い範囲の問題に適用できること
等がある。

但し、 $L(x, \lambda, \mu, r)$ の制約なし最小化も上述の条件を満たす方法が望ましい。これにはニュートン法や共役勾配法と呼ばれる方法がよく知られている。

上に述べた非線形計画法の手法をプラントの最適運転に適用する手順を次に述べる。

まず、対象とするプラントの最適化に関する問題を Q の形にまとめる。これを問題の定式化と称する。そのために、①変数の決定、②目的関数の決定、③制約条件式の決定が必要である。

第2図の自家発電プラントについて考えれば、変数としては各ボイラの蒸気量、各タービンの主蒸気量、抽気タービンの場合には更に抽気量、各発電機発電量および買電電力量がある。

最適にすべき目的を表わす目的関数には、単位

(8)

の簡単さとあいまつて計算に要する時間が極めて短いため、いわゆるプロセス制御用計算機によるオンライン制御が可能である。例えば、製鉄所あるいは製紙工場における自家発電プラントでは、普通のプロセス制御用計算機を使用して、通常の負荷状態において30～80秒という計算時間が得られている。

本発明による他の大きな利点は、プラント構成機器の稼働状態の変化に対する対応の容易さである。一般にプラントでは一部の構成機器は定期点検や故障のため停止され、他の機器を組合せて運転されるのが普通であり、このための余裕をもった構成をとっている。従つて構成機器の組合せが変化した場合、変数や制約条件式が変わることになる。この変化に対していちいち問題の定式化をやつては、組合せての数に相当するだけの問題が出来上り実用的でない。

ところが、先に述べた本発明では簡単にこの問題を克服することができる。すなわち、停止中の機器に関する変数を0(零)とし、且つ該機器に

(10)

関する制約条件を無視すればよい。例えば、第2図のプラントにおいて、ボイラー12が定期点検で、またタービン21、発電機31が故障中でいずれも停止している場合を考える。

前者についてはその蒸気量および燃料量がいずれも変数でこれらを0とし、ボイラー12の特性式（この場合は燃料量と蒸気量の関係）および蒸気量および燃料量の上、下限を示す制約式に対応する（1式）中の $g_i(x)$ と $h_j(x)$ を0とする。

また、後者については、タービン21の主蒸気量と発電機31の発電量の変数であり、これらを0とし、このタービン発電機の出力特性式および主蒸気量と発電量に対する上、下限を規定する制約式 $g_i(x)$ および $h_j(x)$ を0とすればよい。

上に述べた変数および制約条件式を常に0に保ちながら必要な計算を行えば、ボイラー12およびタービン21発電機31が停止の場合のプラントの最適な運転状態を求めることができる。このようにすれば、はじめにプラントの全構成機器を考慮した問題の定式化をしておけば、一部の機器が停

(11)

点における燃料量、蒸気量等を測定し、これらを基に回帰的に特性式を作成することができる。出力装置3は、計算された最適配分結果に従ってプラントを運転するためのもので、プラントに含まれる負荷配分制御装置や燃料配分制御装置（個々には図示されていない）に直接指令を出す場合と、計算結果をディスプレイ等に表示し、運転員がそれを見て指示通りに運転する場合とがある。

以上第2図に示す自家発電プラントを対象として本発明の構成、作用を詳述したが、初めにも述べたようにプロセス蒸気のみを供給する複数缶のボイラーより成るプラント、ボイラー、タービン発電機またタービン・プロワーやコンプレッサを含むプラント等の他に、一般に複数の同種の単一機器の複数の群より成り、これらの並列運転を行なう場合の最適運転に対しても適用することが可能である。

このように、本発明になるプラントの運転制御装置は、対象プラントの運転状態の変化にもかかわらず最適な状態で運転を行なうことを可能とす

(13)

止状態におけるプラントの最適化がいかなる稼働状態に対しても容易に実現することができる。

また、一部の機器に対して予め固定された負荷量や燃料量をとらせる場合がある、つまり試運転中や調整中等がこれである。このときは、それらの変数を与えられた固定値に保ち、関連する制約式中にもこれらの数値を代入するだけでよい。

かくして、機器の停止時のみならず、固定運転にも、本発明によれば容易にプラントの最適化を実現することができるのである。

第3図は、本発明の他の実施例のブロック図を示すもので、対象プラント10に対して第1図に表わすと同様な計算制御装置1の他に入力装置2および出力装置3によつて構成される。入力装置2は対象プラント10の種々の状態量（蒸気流量、発電量等）をセンサーを介して計算制御装置1に読み込むためのもので、こうして入力された諸量は特性式の作成や補正に使用することができる。例えばボイラーの特性式を実験的に作成するような場合、該ボイラーを種々の条件において運転し各

(12)

るもので、例えば省エネルギー、省資源の目的に対して著しい効果を上げることができる。

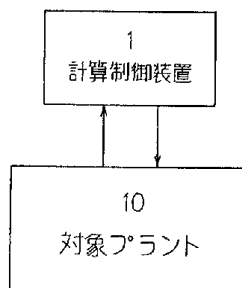
図面の簡単な説明

第1図は本発明の基本的な構成を示す概念図、第2図は本発明の一実施例における対象プラントのブロック図、第3図は本発明の他の実施例を表わす概念図である。

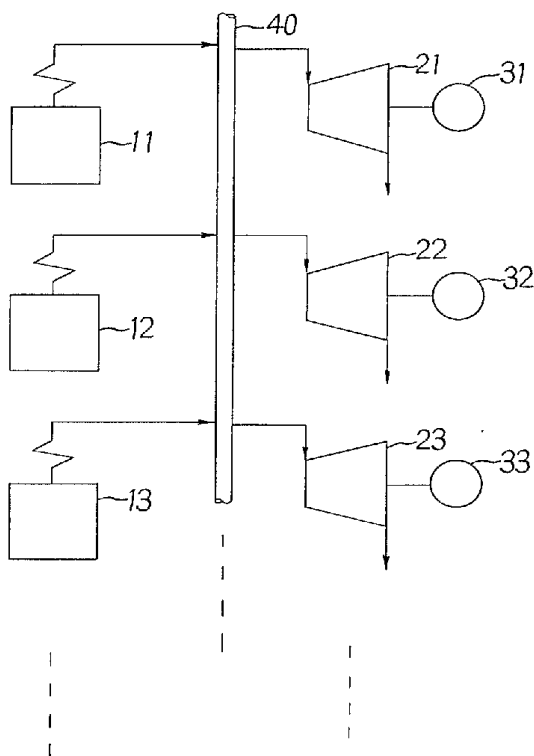
1…計算制御装置、2…入力装置、3…出力装置、10…対象プラント、11、12、13…ボイラー、21、22、23…タービン、31、32、33…発電機、40…蒸気母管。

出願人代理人 猪 股 清

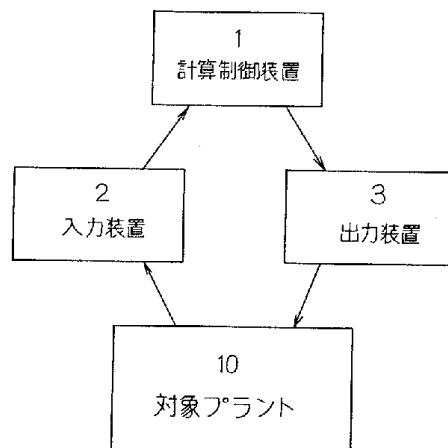
第1図



第2図



第3図



PAT- NO: JP357197606A
DOCUMENT- I DENT I F I E R: JP 57197606 A
T I T L E: O P E R A T I O N C O N T R O L L E R O F
P L A N T
PUBN- DATE: December 3, 1982

I N V E N T O R- I N F O R M A T I O N:

NAME	COUNTRY
KATO, TOSHI HI KO	
KONO, TAKESHI	

A S S I G N E E- I N F O R M A T I O N:

NAME	COUNTRY
TOSHI BA CORP	N/ A

APPL- NO: JP56082759

APPL- DATE: May 30, 1981

I N T- C L (I P C): G05B013/ 02

US-CL-CURRENT: 290/ 40R

A B S T R A C T:

PURPOSE: To minimize a consumption energy cost required for operation of a plant, by applying a mathematical optimizing method under the restricting conditions consisting of a necessary quantity of energy, and rating and characteristics, etc. of each constituting apparatus.

CONSTITUTION: In a non-utility generation plant, evaporation quantity of boilers 11, 12, 13..., main vapor quantity of turbines 21, 22, 23..., generation quantity of generators 31, 32, 33..., purchased electric power quantity, etc. are set as variables. Also, a plant operation cost per a unit time is set as an object function showing an object to be optimized. In case of this plant, it is the sum of a boiler consumption fuel cost and an electric power purchased cost. Subsequently, the upper and lower limits derived from a range which can be taken by each variable, that is to say, rating of each constituting apparatus is expressed as an inequality, and also a characteristic expression of each constituting apparatus, an efficiency expression of the boiler, an output characteristic expression of the turbine and generator, etc., and a vapor quantity balance expression and an electric power quantity balance expression, etc. are generated. They are set as formal expressions, the object function is minimized by use of a Lagrange function with penalty, and in accordance with this optimum answer, load distribution of each apparatus, vapor distribution, and fuel distribution of the boiler are executed.

COPYRIGHT: (C)1982, JPO&Japio